汽车应用中的冗余电源 — 正确实现优先级切换

Björn Görner
Systems engineer, power design services

简介

汽车应用中的安全关键型系统通常依靠冗余电源来达到所需的汽车安全完整性等级。专门为自动驾驶设计的系统必须在各类工况下都能维持工作，至少要保证车辆能够进入安全状态。设计冗余电源时，工程师一般采用两种架构：ORing 或优先级切换。虽然这两种实现方式几乎相同，但存在一些细节要点，若处理不当会引发故障。

ORing 与优先级切换的区别

ORing 应用通过二极管连接两个或更多个输入，如果系统要求更高功率，则使用理想二极管或 ORing 控制器进行连接。**图 1** 所示为此类 ORing 方案的典型实现方案。此实现可为输出提供最高的输入电压。各路相等的输入电压所承担的负载相对均衡。

ORing 方法易于实现，适合多路电源均具有同等可用性的系统。当两个电源的电压电平彼此接近时，这两个电源会同时加载，因此从一个电源到另一个电源的切换会相对平稳。只要不需要断开一个或两个电源，该实现中背对背场效应晶体管 (FET) 为可选器件。

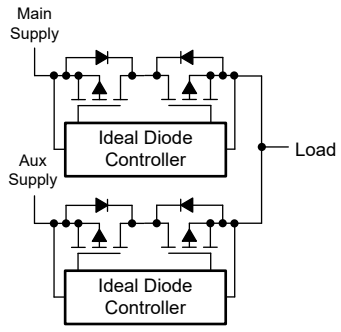

***图 1.** 输入 ORing*

对于采用高压牵引电池、大功率降压变换器以及容量较小的 12V/48V 辅助蓄电池的电动汽车，标准 ORing 方法可能不适用。这是因为辅助蓄电池和充电电路的容量较低，且两者均仅用于应急操作。在这种情况下，优先级切换方案可在不给小型辅助电池增加不必要负载的情况下实现冗余。

如**图 2** 中所示，优先级切换通过辅助电源的理想二极管控制器监控主电源，并且仅在主电源低于特定阈值时切换到辅助电源。理想二极管控制器必须支持过压保护功能，在本例中，该功能用于检测主电源上的欠压事件。LM74900-Q1 器件系列就是具有过压保护功能的理想二极管控制器示例。为了避免从禁用的电源汲取电流，必须在此应用中使用背对背 FET。

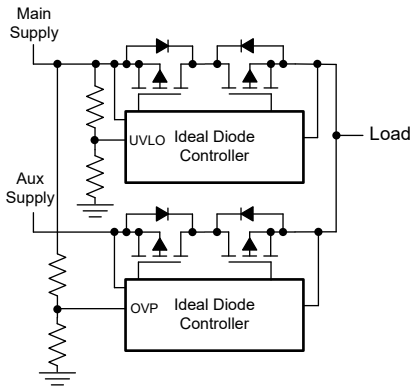

图 2. *优先级切换*

优先级切换细节

一般而言，用于 ORing 和优先级切换的电路本身差别不大，但优先级切换方案的工作特性有一些细节需要留意。

虽然两条电源路径电压大致相当时，ORing 解决方案会同时启用这两条路径，但优先级切换方案会使辅助电源路径保持禁用状态，直到主电源路径的电压降至特定阈值以下。达到此阈值会禁用主电源路径并启用辅助电源路径，从而导致负载瞬间从一路电源切换至另一路并在两个电源上产生突然的电压阶跃。该瞬时负载切换会造成主电源电压在彻底掉电前，经常出现短时电压尖峰，具体现象取决于造成初始电压跌落的故障。

辅助电源的切换判定依据为主电源电压，因此该电压尖峰可能造成系统切回主电源，切回后主电源电压会立刻再次跌落，导致系统又会切回辅助电源。这会导致两个电源之间出现不受控制的振荡，并在输出端产生大幅纹波，有可能破坏系统功能。该电压扰动来源于电源通路内全部寄生电阻与寄生电感的叠加，例如印刷电路板布线、接线和 MOSFET 漏源导通电阻 ($R_{DS(on)}$)。

图 3 展示了此类行为的一个示例。主电源断开时，输入电压一旦低于切换阈值，就会出现短时脉冲扰动。**图 3** 中的通道 1 为辅助电源电压，通道 3 为输出电压。该工况下辅助电源电压低于主电源电压，切换阈值设置在略高于辅助电源电压的位置。

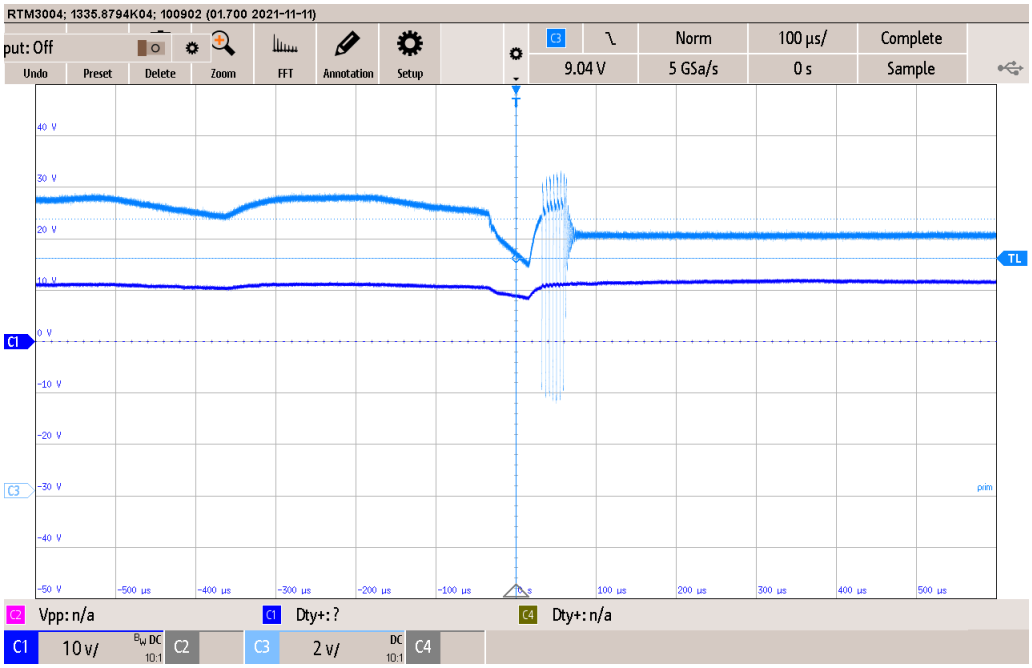

图 3. *优先级切换系统中输入切换过程中的振荡现象*

振荡是否持续取决于主电源电压跌落的故障形式，例如，主电源线缆局部破损，只会产生大幅压降，而不会完全断电，就会引发持续振荡。多数场景下，理想二极管控制器中内置的迟滞配合足够大的输入电容，能够抑制该振荡现象。但部分工况下，仅靠内置迟滞仍无法避免选用体积过大的输入电容器。

尽管内置迟滞不可修改，但某些器件可以采用简单的外接解决方案，增大迟滞量。许多器件（如 LM74910H-Q1）都提供一个故障输出，您可以使用该输出来增加外部迟滞并更大限度地减少元件数量。在 LM74910H-Q1 上，故障引脚为开漏输出，可在过压情况和其他故障下拉至低电平。该输出还可以控制外部晶体管，从而改变过压输入的反馈分压器。图 4 展示了一种典型实现方案。

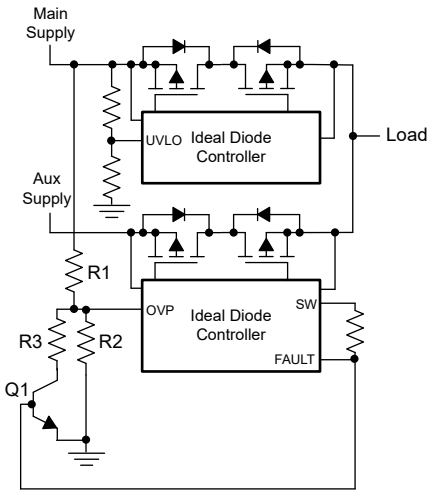

图 4. *外部迟滞*

由于该故障输出是开漏输出，因此您需要一个偏置电阻器来导通双极结型晶体管。该电阻器连接到集成电路的软件引脚，该引脚为输入提供一个可切换的低电流路径，系统关机时该通路关断，用于最大限度地降低静态电流。

只要主电源高于切换阈值，辅助控制器就会处于过压故障状态，从而禁用电源开关并将故障输出拉至低电平。下拉故障输出会禁用晶体管 Q1；因此，过压输入的反馈分压器仅由 R1 和 R2 组成。由此得到过压反馈电压，该电压由两只电阻的分压比以及切换阈值共同决定，关系式如**方程式 1** 所示：

$$V_{ov_falling} = V_{sense_falling} \frac{R1}{R2} \quad (1)$$

一旦主电源电压降至低于该过压阈值，故障输出不再拉低，晶体管导通，R3 与 R2 并联并降低过压输入端的电压。对应的上升阈值新值可见**方程式 2**：

$$V_{ov_rising} = V_{sense_rising} \frac{R1}{\frac{R2 \; R3}{R2 + R3}} \quad (2)$$

更改 R3 值即可轻松调整产生的迟滞，从而提供出色的设计灵活性。

结语

选择 ORing 还是优先级切换冗余电源解决方案取决于您的系统设计。虽然两种设计都提供相同的功能，ORing 实现对硬件的要求不那么严苛。电路板电感、电路板电阻、功率晶体管的 $R_{DS(on)}$ 和电缆电阻等寄生效应会对优先级切换实施方案的切换特性造成不利影响。在某些情况下，控制器的内部迟滞足以抵消寄生元件的影响，但并非总能奏效。

本文介绍的电路是一种简易改进方案：用最少外围器件增加外部迟滞。该方案唯一前提：控制器能够提供合适信号，用于两路电压之间的切换控制。借助该控制器，可以降低电源输入端对电容容量的要求，实现干净平稳的切换，保障系统稳定，同时节约成本。

关于作者

Björn Görner 隶属于电源设计服务团队，拥有八年定制电源方案与参考设计开发经验，主攻车载应用方向。他经常在 TI 电源设计研讨会上担任演讲嘉宾；该研讨会由德州仪器每年举办两届，为功率变换领域的工程师提供培训与技术支持。

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

所有商标均为其各自所有者的财产。

© 2026 Texas Instruments Incorporated

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 销售条款)、TI 通用质量指南 或 ti.com 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。 除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月